

*Д.А. СЛИНЬКО*, магистр, НТУ “ХПИ”, Харьков

*В.А. ПУЛЯЕВ*, д-р техн. наук, проф., зам. директора, Институт ионосферы, Харьков

## **УЧЕТ ИСКАЖЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЭФФЕКТОМ ИМПУЛЬСНОГО СГЛАЖИВАНИЯ СИГНАЛА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

У статті розглядаються спотворення, які пов'язано з ефектом згладжування даних при імпульсному зондуванні іоносфери. Це згладжування викликається тим, що по імпульсному об'єму при прийомі відбувається усереднення інформації, яке може приводити до неправильної інтерпретації результатів.

В статье рассматриваются искажения, связанные с эффектом сглаживания данных при импульсном зондировании ионосферы. Это сглаживание вызвано тем, что по импульсному объему при приеме происходит усреднение информации, которое может приводить к неправильной интерпретации результатов.

The distortions related to the effect of the impulsive smoothing of data are examined in a lecture. This smoothing is caused by that as a result of action of long sounding impulse at a reception takes place distortion of information that leads in misinterpretation of results.

**Постановка задачи.** В методе некогерентного рассеяния (НР) радиоволн [1] характеристики зондирующего сигнала определяются заданным высотным диапазоном исследований. Кроме того, в отличие от радиолокации, где в конечном итоге обработка принятого отклика сводится к определению по отраженному сигналу координат и скорости облучаемого объекта, в данном методе к этому добавляется необходимость детального анализа спектров или корреляционных функций сигнала вдоль всей радиолокационной развертки дальности, причем для разных комбинаций излучаемых импульсов.

В связи с этим на практике используются несколько вариантов зондирующих сигналов [2] и ряд алгоритмов их многоканальной обработки [3, 4]. Среди них существует режим обработки, когда для исследования состояния плазмы вдоль протяженного высотного диапазона  $h$  применяется довольно протяженный радиоимпульс. В этом случае возникают искажения, особенно по отношению к области максимума электронной концентрации, которые напрямую трансформируются в погрешности измерений параметров ионосферы. Вот поэтому в методе НР актуальной задачей является получение максимально точного значения профиля мощности сигнала рассеяния не зависимо от длительности зондирующего импульса.

**Целью** данной статьи является анализ искажений, связанных с эффектом импульсного сглаживания профиля мощности сигнала рассеяния, а

также возможность его восстановления с учетом параметров сигнала, применяемого для зондирования ионосферы.

**Решение задачи.** Рассмотрим процесс преобразования формы профиля, полученного в виде высотного распределения мощности  $P_c(h)$  сигнала НР, информация с которого необходима для расчёта профиля электронной концентрации  $N_e(h)$ .

На рис. 1а приведен пример модельного представления высотного профиля сечения рассеяния  $P_{Ne}(h)$ ,  $h = \overline{h_0, h_j}$ , который соответствует некоторому варианту распределения концентрации электронов вдоль направления зондирования. На его фоне изображен профиль мощности  $P_c(h)$ , смоделированный как результат получения информации о  $P_{Ne}(h)$  в канале коррелятора, осуществляющего вычисление мощности принимаемого сигнала. В процессе моделирования подразумевалось, что рассеяние  $P_c(h)$  образовывается как результат импульсного облучения ионосферы зондирующим сигналом длительностью  $T_n$ .

На примере приведенного моделирования можем наблюдать, как в результате воздействия относительно длинного (по отношению к толщине ионосферного слоя F2) зондирующего импульса возникает эффект сглаживания данных, приводящий к искажению полученных результатов. А значит – с района максимума слоя F2 будут получены значения мощности  $P_c$ , на 10 – 20 % меньшие от истинной величины  $P_{Ne}$ . Кроме того, из-за подобного эффекта почти неразличимы сигнал  $P_s$  от спорадического слоя в начале развертки и сигнал  $P_n$  импульсной помехи.

Чтобы иметь возможность по преобразованию  $P_c(h)$  в оценку искомого профиля  $P_{Ne}^*(h)$ , максимально близкую к  $P_{Ne}(h)$ , рассмотрим процедуру, во время которой соблюдаются следующие условия.

Период дискретизации сигнала в АЦП устанавливается таким образом, что по отношению к длительности зондирующего импульса строго придерживалась кратность величины  $\tau_q$ , т.е.  $T_n = n\tau_q$  ( $n$  – целое). При этом действительны некоторые математические зависимости, связывающие между собой информацию о  $P_c(h)$  и  $P_{Ne}^*(h)$  [5]:

$$P_{Ne}^*(h_j) = 0,$$

$$P_{Ne}^*(h_{j-1}) = 0,$$

$$P_{Ne}^*(h_{j-2}) = 0,$$

$$P_{Ne}^*(h_{j-3}) = 0,$$

$$P_{Ne}^*(h_{j-4}) = 7 \cdot P_c(h_{j-1}),$$

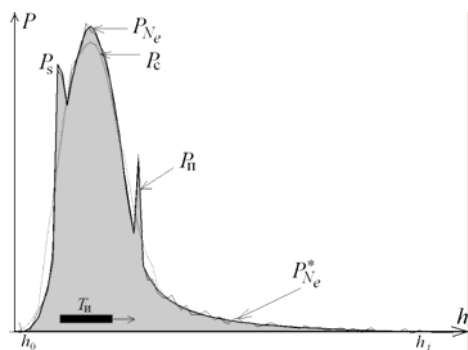
$$P_{Ne}^*(h_{j-5}) = 7 \cdot P_c(h_{j-2}) - P_{Ne}^*(h_{j-4}),$$

$$P_{Ne}^*(h_{j-6}) = 7 \cdot P_c(h_{j-3}) - P_{Ne}^*(h_{j-5}) - P_{Ne}^*(h_{j-4}),$$

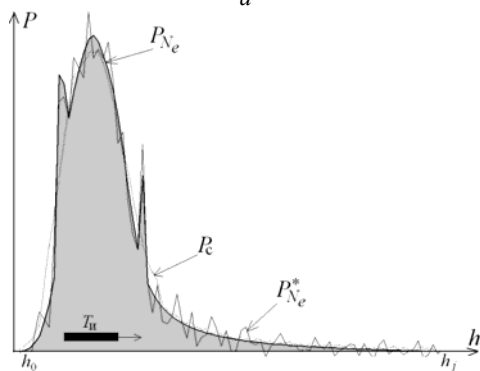
$$P^*_{Ne}(h_{j-7}) = 7 \cdot P_c(h_{j-4}) - P^*_{Ne}(h_{j-6}) - P^*_{Ne}(h_{j-5}) - P^*_{Ne}(h_{j-4}),$$

$$P^*_{Ne}(h_0) = 7 \cdot P_c(h_3) - P^*_{Ne}(h_1) - P^*_{Ne}(h_2) - P^*_{Ne}(h_3) - P^*_{Ne}(h_4) - P^*_{Ne}(h_5) - P^*_{Ne}(h_6).$$

Данные выражение приведены для случая  $n = 7$  (т.е. для условия, когда длительность зондирующего импульса охватывает высотный интервал, равный семи отсчетам на выходе АЦП) и рассматриваемого диапазона высот  $[h_0, h_1, \dots, h_j]$ .



a



б

Рис. Моделирование процесса получения профиля мощности сигнала НР и процесса его преобразования в профиль сечения рассеяния для случая отношений сигнал/шум  $q = 20$  (a) и  $q = 1$  (б)

Расчет начинается с решения первых 4-х уравнений.

В качестве стартового всегда выбирается верхний участок  $h_j$ , на котором по мере уменьшения вдоль высотной шкалы значений принятой мощности  $P_c(h_j)$  впервые будет зафиксировано ее нулевое значение. Этот случай дает нам основание все 7 охватываемых импульсом слагаемых из профиля  $P^*_{Ne}(h)$ ,

которые в том числе относятся к участкам  $h_j$ ,  $h_{j-1}$ ,  $h_{j-2}$  и  $h_{j-3}$ , также считать нулевыми. Начиная же с участка  $h_{j-4}$  и ниже последующими уравнениями можно получить уже ненулевые значения  $P_{Ne}^*(h)$ , постепенно перемещаясь к первому участку на высоте  $h_0$ .

Такая процедура расчёта исходных данных ”с конца“ позволяет, используя несложные математические преобразования, приблизиться к высотному разрешению, которое бы обеспечил укороченный в  $n$  раз зондирующий импульс. В результате действия этой процедуры происходит полное восстановление исходного результата с получением искомого профиля  $P_{Ne}^*(h)$ , а значит – есть возможность контрастного выделения структуры спорадических ионосферных слоёв, импульсной помехи, подробной детализации отражений от летательных объектов и т.д.

Данная процедура работает тем точнее, чем меньшим статистическим разбросом характеризуется полученный во время эксперимента высотный профиль мощности  $P_c(h)$ . Так, на рис. 1а показан случай восстановления информации о профиле мощности для случая, когда отношение сигнал/шум  $q$  подразумевалось достаточно большим ( $q = 20$ ). Иной случай изображен на рис. 1б, где профиль принятой мощности представляет собой смесь полезного сигнала и некоторого существенного уровня шумовой составляющей, вызвавшей уменьшение отношения сигнал/шум до  $q = 1$ . В этом случае из-за появления флуктуаций на профиле мощности процесс восстановления исходных данных может привести к значительным погрешностям вычисления  $P_{Ne}^*(h)$ .

**Выводы.** Предложенная процедура восстановления профиля сечения рассеяния по принятой информации о мощности сигнала НР, когда известны и могут быть учтены параметры зондирующего импульса, дает принципиальную возможность получения истинных значений этого профиля. Однако следует учесть, что величина погрешностей такого преобразования тем меньше, чем незначительней на исходных данных искажения, влияние которых определяется отношением сигнал/шум.

**Список литературы:** 1. *Рогожкин Е.В.* Измерение параметров ионосферной плазмы по корреляционной функции сигнала некогерентного рассеяния // *Ионосферные исследования*. – М.: Высш. шк. – № 27. – 1979. – С. 46 – 59. 2. *Рогожкин Е.В., Пуляев В.А., Лысенко В.Н.* Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом НР. Монография. – Х.: НТУ ”ХПИ”, 2008. – 256 с. 3. *Слинько Д.А., Пуляев В.А.* Вопросы идентичности многоканального преобразования данных радаров НР // Сб. тезисов конф. молодых ученых ”Дистанционное радиозондирование ионосферы”. – 2010. – С. 21. 4. *Слинько Д.А., Пуляев В.А.* Вопросы идентичности преобразования информации в многоканальном блоке АЦП радара НР // *Вестник НТУ ”ХПИ”: Радиофизика и ионосфера*. – 2010. – № 48. – С. 102 – 105. 5. *Слинько Д.А., Пуляев В.А.* Учет искажений, связанных с эффектом импульсного сглаживания сигнала некогерентного рассеяния // Сб. тезисов конф. молодых ученых ”Дистанционное радиозондирование ионосферы”. – 2011. – С. 27.

*Поступила в редколлегию 01.07.2011*